

СТРУКТУРА ПРЕЦИЗИОННОГО НИКЕЛЬКОБАЛЬТОВОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА

Ефимова Е.Д., Тацценко Т.А

Руководитель – д.т.н. Калетина Ю.В.

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург
efimova@imp.uran.ru

В настоящее время прецизионные сплавы применяются во многих отраслях промышленности. Уникальные физические и химические свойства этих сплавов дают возможность решать различные конструкторские задачи. Прецизионный никелькобальтовый сплав на основе железа 29НК отличается невысоким значением коэффициента теплового расширения (в интервале температур 20 - 400 °С) и хорошей теплопроводностью. Он обеспечивает хорошую изоляцию и вакуумную непроницаемость в стеклянных или керамико-металлических заслонках в электровакуумных и полупроводниковых приборах, выступает в роли перехода между стеклом и металлом корпуса прибора.

Целью работы являлось изучение микроструктуры и фазового состава сплава 29НК после отжига. Химический состав сплава указан в таблице 1.

Таблица 1

	Содержание элемента, мас. %									
	C	Ni	Co	Cr	Ti	Mn	S	P	Si	Cu
29НК	0,03	28,5-29,5	17-18	-	-	до 0,4	0,02	0,02	0,28	-

Исследования проводились методами оптической металлографии и сканирующей электронной микроскопии с использованием локального микрорентгеноспектрального анализа. Ориентацию зерен определяли методом дифракции обратно отраженных электронов (EBSD). Сканирование шлифа осуществлялось с шагом 2 мкм на поверхности площадью 2200 x 650 мкм.

Образцы из сплава 29НК, имеющие форму цилиндров диаметром 5 мм и высотой 15 мм, отжигали при 1040 ± 20 °С в течение 1 ч в среде водорода с последующим охлаждением с печью в той же среде до комнатной температуры. Часть образцов отжигали в вакууме при $1000 - 1050$ °С (1 ч) после чего охлаждали с печью до комнатной температуры.

После отжига в среде водорода и в вакууме вытравливается зеренная структура (рис. 1, а), поверхность образцов рельефная (рис. 1, б). Локальный микрорентгеноспектральный анализ после отжига в среде

водорода выявил небольшое количество оксидов SiO_2 , MnO и FeO . После травления оксиды отсутствовали, в структуре наблюдали включения неправильной формы – сложные сульфиды типа $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe})\text{S}$. Средний размер таких частиц составил $\sim 2\text{-}3$ мкм. Включения располагаются в теле зерна аустенита.

Микрорентгеноспектральный анализ поверхности шлифов после отжига в вакууме показал, что в структуре сплава 29НК присутствуют как сложные сульфиды, содержащие кальций, марганец, железо, так и незначительное количество сложных оксисульфидов, содержащих кремний, алюминий, титан и марганец.

После травления хорошо видны границы зерен (рис. 1, в). Размер зерна варьируется от 40 до 180 мкм. Внутри отдельных зерен видны двойники.

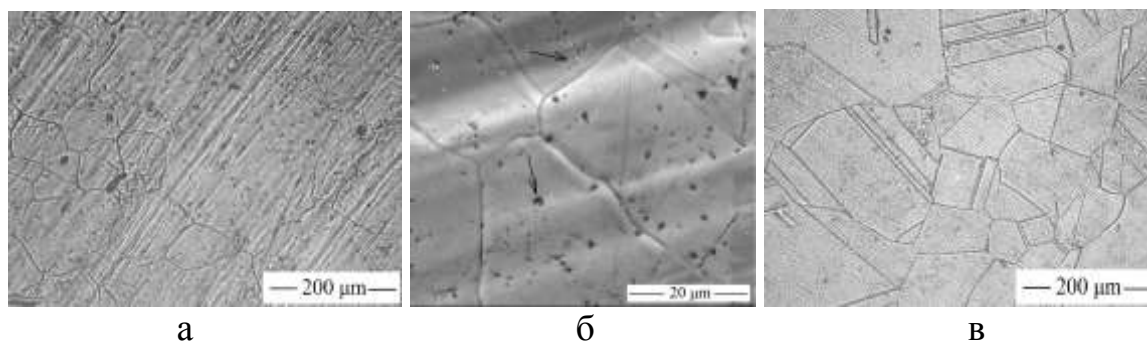


Рис. 1. Структура сплава 29НК до приготовления шлифа (а, б), после приготовления шлифа и травления (в)

Был проведен анализ размеров и ориентации двойников. Методом дифракции обратно отраженных электронов (EBSD) получена карта зеренной структуры (рис. 2). Анализ размера двойников в разных зернах показал, что их толщина меняется от 20 до 150 мкм (рис. 2, б, в). Однако все двойники ориентированы относительно матрицы под углом 60° .

Частотная характеристика разориентировки границ зерен на поверхности шлифа сплава 29НК показала, что около 30 % составляют зерна с малыми (до 15°) углами разориентировки. Среди таких зерен основную долю составляют зерна с небольшой (до 5°) разориентировкой. Доля зерен в структуре с двойниковой составляющей (зерна с угловой разориентацией 60°) достигает приблизительно 30 %. Зерен с разориентировкой на угол от 15 до 60 градусов ≈ 40 %. Таким образом, в структуре отожженного сплава 29НК в основном преобладают зерна с большими углами разориентировки от 15 до 180° . Доля таких зерен составляет ≈ 70 %. Суммарная длина высокоугловых границ со снятого участка образца равна 6,60 см, малоугловых – 3,79 см.

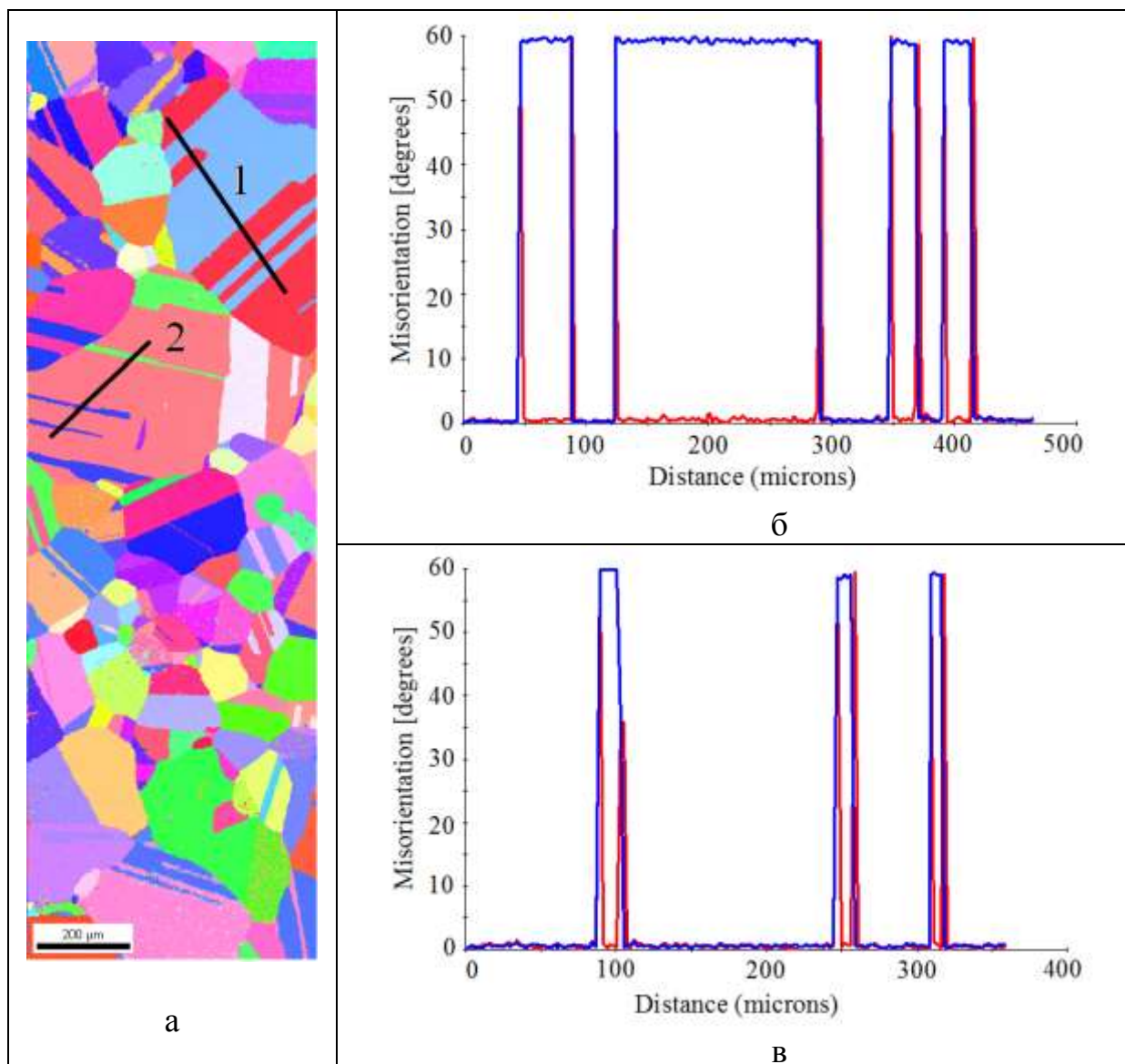


Рис. 2. EBSD анализ поверхности образца сплава 29НК:
а – карта ориентации зерен; б – размер и ориентация двойников
зерна 1; в – размер и ориентация двойников зерна 2

Таким образом, после высокотемпературного отжига сплав 29НК имеет аустенитную структуру с включениями сложных сульфидов и оксисульфидов. Внутри аустенитных зерен присутствуют двойники различной толщины, ориентированные под углом 60° относительно матрицы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-03-00050-а, а также при поддержке проекта Президиума УрО РАН 12-У-2-1022.